

Fluência de concreto com agregados reciclados: uma revisão

Concrete creep with recycled aggregates: a review

¹Joaquin Humberto Aquino Rocha, ²Lidianne do Nascimento Farias

¹Doutorando em Engenharia Civil no Programa de Engenharia Civil PEC/COPPE/UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro (joaquin.rocha@coc.ufrj.br)

²Doutoranda em Engenharia Civil no Programa de Engenharia Civil PEC/COPPE/UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro (lidianne.farias@coc.ufrj.br)

RESUMO: A fluência é uma das propriedades mais importantes do concreto, mas o uso de Agregados Reciclados de Concreto (ARC) pode afetar significativamente essa propriedade. Neste sentido, o objetivo do presente artigo foi realizar uma revisão da literatura sobre a fluência no concreto com ARC, considerando sua influência, causas e medidas de redução. A metodologia consistiu em uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para o período de tempo de 2007 até 2021 (primeiro trimestre). Foram utilizadas diferentes bases de dados de busca de informação científica, limitando-se a artigos de revista e em língua inglesa. Os resultados mostram que o Agregado Graúdo Reciclado de Concreto (AGRC) é o mais utilizado nos estudos selecionados, aumentando a fluência com o grau de substituição do agregado natural; no entanto, não há uma tendência clara com Agregado Fino Reciclado de Concreto (AFRC), cujos resultados são limitados na literatura. Apresenta-se que a fluência depende de vários fatores como a relação *a/c*, idade da carga, etc. Entre as principais causas, a maioria dos estudos afirma que a fluência se deve à argamassa antiga aderida ao ARC, mas também algumas medidas são propostas para reduzir a fluência no concreto com ARC. Pode-se concluir que o uso de ARC é uma alternativa sustentável para a produção de concreto, mas são necessárias mais pesquisas para entender completamente a influência do ARC na fluência do concreto e consolidar seu uso para níveis industriais.

Palavras Chave: Sustentabilidade. AGRC. AFRC. Relação *a/c*. Causas.

ABSTRACT: Creep is one of the most important properties of concrete, but the use of Recycled Concrete Aggregates (RCA) can significantly affect this property. In this sense, the objective of the present article was to carry out a review of the literature on creep in concrete with RCA, considering its influence, causes and reduction actions. The methodology consisted of a Systematic Literature Review (RSL) for the time period from 2007 to 2021 (first quarter). Different databases were used to search for scientific information, limited to journal articles and in English. The results show that the Coarse Recycled Concrete Aggregate (CRCA) is the most used in the selected studies, increasing the creep with the degree of substitution of the natural aggregate; however, there is no clear trend with Fine Recycled Concrete Aggregate (FRCA), whose results are limited in the literature. It is shown that creep depends on several factors such as the *w/c* ratio, age of the load, etc. Among the main causes, most studies claim that creep is due to old mortar adhered to RCA, but also some actions are proposed to reduce creep in concrete with RCA. It can be concluded that the use of RCA is a sustainable alternative for the production of concrete, but more research is needed to fully understand the influence of RCA concrete creep and consolidate its use to industrial levels.

Keywords: Sustainability. CRCA. FRCA. *w/c* ratio. Causes.

1. INTRODUÇÃO

Diante do aquecimento global e da escassez de recursos, diversas ações de mitigação têm sido previstas, buscando reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO₂) (LYE et al., 2016). O acordo de Paris de 2015 se concentra na redução das emissões de gases de efeito estufa, onde Brasil é signatário (UNITED NATIONS, 2015). Na Europa existem iniciativas como o Pacto Verde Europeu (*Green Deal*) para reduzir as emissões de CO₂ até 2050; enquanto, na China está planejado até o ano de 2060 (WANG et al., 2021).

Quanto ao setor da construção civil, o material mais utilizado é o concreto (WALBERG, 2016); entretanto, sua produção representa 8% das emissões mundiais de CO₂ (WARBURTON, 2020). O concreto é geralmente composto por agregados (graúdos e miúdos), água e cimento. Este último material emite grandes quantidades de CO₂ durante sua

produção, sendo que são produzidas 3,27 bilhões de toneladas anuais de cimento e ainda existe previsão de um aumento significativo, atingindo 4,83 bilhões de toneladas em 2030 (STATISTA RESEARCH DEPARTMENT, 2013). Com relação aos agregados, são necessários 48,30 bilhões de toneladas por ano, o que representa uma quantidade considerável de recursos (THE FREEDONIA GROUP, 2012). No caso do Brasil, a demanda anual de agregados é de 605 milhões de toneladas (ANEPAC, 2021), cujo processo de extração gera impactos ambientais negativos: modifica o curso dos rios e seus leitos; altera as paisagens, e causa problemas de estabilidade (CABRAL et al., 2010).

Por outro lado, durante as atividades de construção, reforma e/ou demolição de estruturas existentes, são produzidos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), tais como: concreto, tijolos de madeira, gesso, entre outros (US EPA, 2020). A alta geração dos RCD e seu descarte em aterros de forma irregular, sem tratamento prévio, causam impactos negativos ao meio ambiente (KABIRIFAR et al., 2020). A China é o maior gerador mundial de RCD com 2,36 bilhões de toneladas (HUANG et al., 2018), seguida pelos Estados Unidos com 600 milhões de toneladas (US EPA, 2020) e Índia com 530 milhões de toneladas (MoEF, 2018). Já no Brasil são coletadas 46 milhões de toneladas de RCD ao ano (ABELPRE, 2021).

Nesse sentido, para reduzir os impactos ambientais, propõe-se o reaproveitamento e a reciclagem dos RCD na construção civil. Estudos demonstram que os agregados reciclados podem substituir os agregados naturais para a produção de concreto (Concreto com Agregado Reciclado - CAR) (XIAO et al., 2012; BEHERA et al., 2014; ZHENG et al., 2017), reduzindo a emissão de gases de efeito estufa e evitando o uso de recursos naturais (HOSSAIN et al., 2016).

O CAR é amplamente estudado, sendo presente em diferentes normas: Din 226-100 (GERMAN INSTITUTE FOR STANDARDIZATION, 2002); JIS A 5021/5022/5023 (JSA, 2018a; JSA, 2018b; JSA, 2018c), BS 8500-2 (BSI, 2002); ASTM D8038-16 (ASTM, 2016); ASTM C1798 C/1798M-19 (ASTM, 2019); GB/T 25176-2010 (CHINESE STANDARD, 2010a); GB/T 25177-2010 (CHINESE STANDARD, 2010b). A norma brasileira NBR 15116 (ABNT, 2004) classifica como ARC o material que possui pelo menos 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas, mas limita seu uso a elementos sem função estrutural. No entanto, no Brasil há grandes avanços no uso do ARC em concreto. Pepe et al. (2014) propuseram processos alternativos para melhorar as propriedades físicas e mecânicas do CAR, sendo comparável ao concreto convencional. Carneiro et al. (2014) mostraram que o uso de fibra de aço no CAR aumenta a resistência mecânica e modifica o processo de fratura em relação ao concreto com agregados naturais. Vieira et al. (2020) concluíram que o CAR é economicamente viável para resistências à compressão inferiores a 30 MPa. Por sua vez, Silva et al. (2021) constataram que a substituição total de agregados naturais por ARC proporciona o mesmo ou até melhor comportamento mecânico. Mas, apesar dos diferentes estudos na área, sejam nacionais ou internacionais, a maioria avaliou apenas o comportamento do concreto no curto prazo sem considerar as propriedades de longo prazo, como a fluência (SEARA-PAZ et al., 2016).

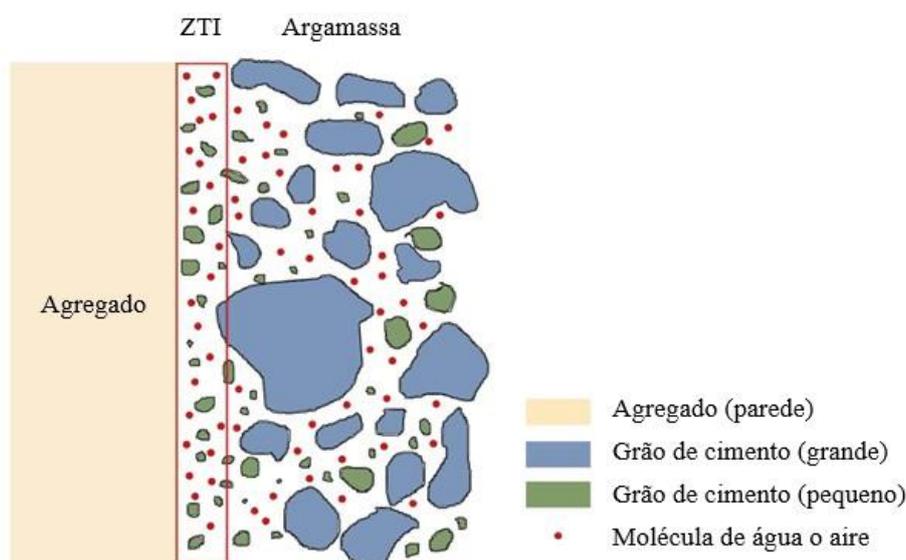
A partir dos estudos de Chinzorigt et al. (2020) e Fan et al. (2020) entende-se que o CAR apresenta maior deformação por fluência quando comparado ao concreto convencional. Isso é atribuído ao teor de argamassa aderida, que reduz a qualidade dos agregados reciclados (TSUJINO et al., 2006) e a variação da relação a/c (MANZI et al., 2013). Mas também outros estudos mostraram diferentes comportamentos de fluência de concreto com ARC e relataram a influência de outros fatores (GHURAIZ et al., 2011; BRAVO et al., 2017; LV et al., 2019; CHINZORIGT et al., 2020; AKONO et al., 2021). Nesse sentido, o objetivo do presente artigo foi realizar uma revisão da literatura sobre a influência dos ARC na fluência do concreto, considerando as causas e medidas de redução.

2. REVISÃO DA LITETURA

2.1 Efeito “parede”

De acordo com Scrivener et al. (2004), na mistura de concreto, os agregados graúdos podem ser considerados como uma “parede”, uma vez que as partículas são grandes (10 a 20 mm de diâmetro) em relação às partículas de cimento, cujo diâmetro é menor (100 microns). Além disso, as partículas de cimento são de tamanhos e formas diferentes, não permitindo o contato uniforme com a superfície do agregado e causando a geração de vazios, que serão preenchidos por moléculas e/ou partículas de ar e água. Esse fenômeno ocorre em áreas próximas ao agregado e com espessura variável (em micros), denominada Zona de Transição Interfacial (ZTI) (Figura 1); porém, devido à presença de pequenas partículas e vazios na ZTI, a capacidade de carga dessas zonas é inferior à argamassa do concreto (ETXEBERRIA et al., 2006).

Figura 1 – Efeito “parede” e ZTI.



Fonte: Wang et al. (2021).

2.2 Mecanismo de concreto com agregado reciclado (CAR)

Os ARC são compostos de duas partes, agregado natural e argamassa antiga. Nos ARC distinguem-se duas ZTI: a primeira entre o agregado natural e a argamassa antiga, e a segunda entre o agregado natural e a argamassa nova (Figura 2). No CAR há um maior volume de ZTI quando comparado a um concreto com agregado natural, o que leva a desenvolver menores propriedades mecânicas (compressão, tração, flexão, entre outras). Além disso, as ZTI afetam o concreto na permeabilidade e a proteção contra a corrosão. Os ARC têm menos resistência do que o natural, o que gera fissuras adicionais na camada de argamassa antiga durante sua produção (Wang et al., 2021).

3. METODOLOGIA

Para o presente estudo adotou-se como metodologia a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que consiste em identificar, selecionar, avaliar e sintetizar as informações mais importantes sobre um determinado assunto (GALVÃO e RICARTE, 2019). Para isso, foram propostas as seguintes questões:

- Qual é a influência dos ARC na fluência?

- Quais são as principais causas para desenvolver fluência no CAR?
- Quais são as medidas para mitigar a fluência no CAR?

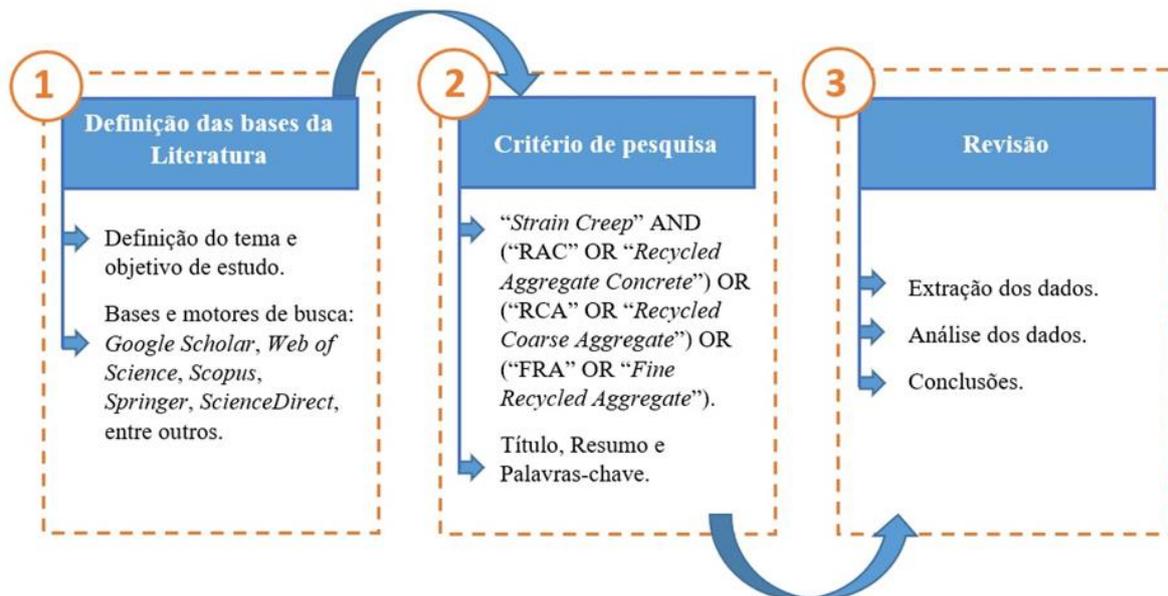
A Figura 3 resume o processo de revisão adotado. Diferentes fontes de informação científica e bases de dados foram utilizadas para a presente revisão da literatura: *Google Scholar*, *Web of Science*, *Scopus*, *Springer*, *ScienceDirect*, entre outros. Os artigos foram limitados aos publicados em revistas e em idioma inglês, considerado os últimos 15 anos (2007 até o primeiro trimestre do 2021).

Figura 2 – ARC no CAR.



Fonte: Wang et al. (2021).

Figura 3 – Metodologia do estudo.



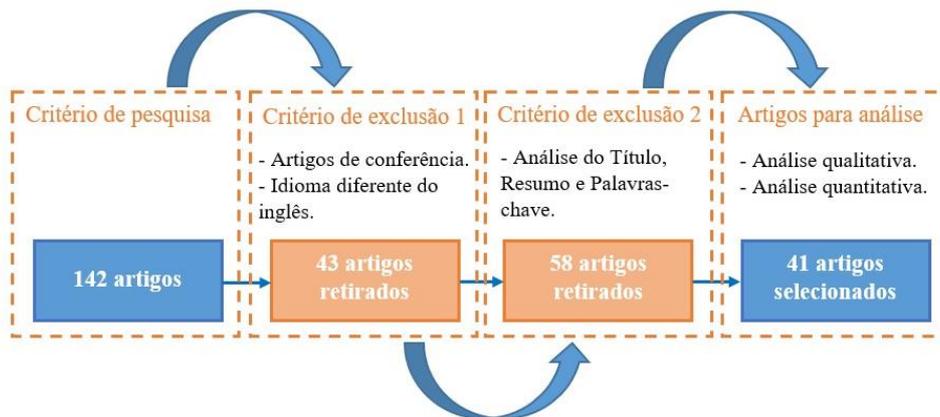
Inicialmente, foram selecionados 142 artigos; no entanto, utilizando os critérios de exclusão de artigos (Figura 4), apenas 41 artigos ficaram para extração e análise dos dados. Além disso, três artigos, fora do período selecionado, foram considerados devido à sua importância (número de citações), mas só para extração parcial dos dados (HANSEN, 1986; RAVINDRARAJAH e TAM, 1987; TAM et al., 2005).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise dos Dados Publicados

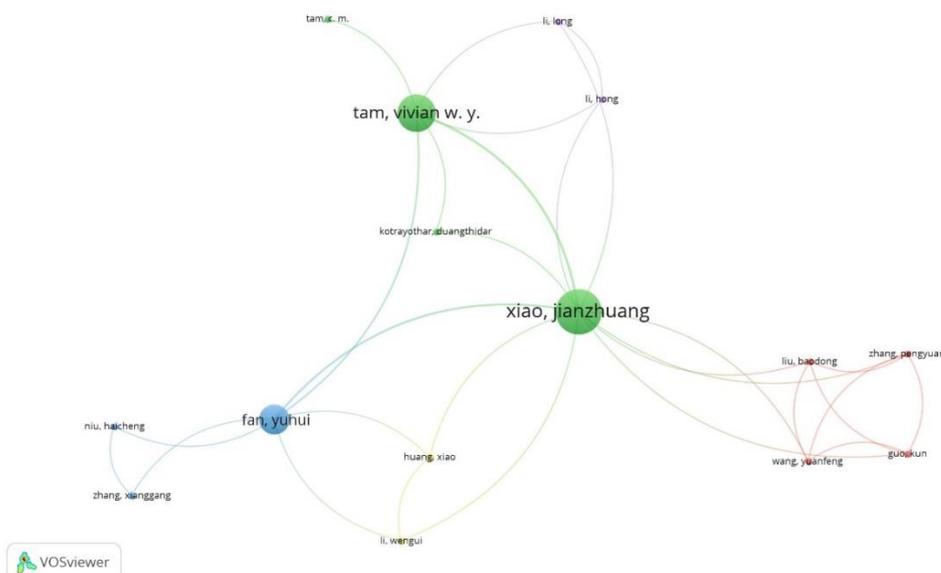
A fluência no concreto refere-se ao aumento da deformação ao longo do tempo sob tensões constantes, sendo uma das propriedades mais importantes do concreto, além de ser uma medida de durabilidade (FAN et al., 2020; AKONO et al., 2021). A fluência pode causar uma redistribuição de esforços internos em estruturas de concreto armado, causando deformações significativas em vigas de grande vão e pontes de concreto protendido, gerando riscos (SHEN et al., 2009; BAŽANT et al., 2011).

Figura 4 – Critérios de exclusão dos artigos.



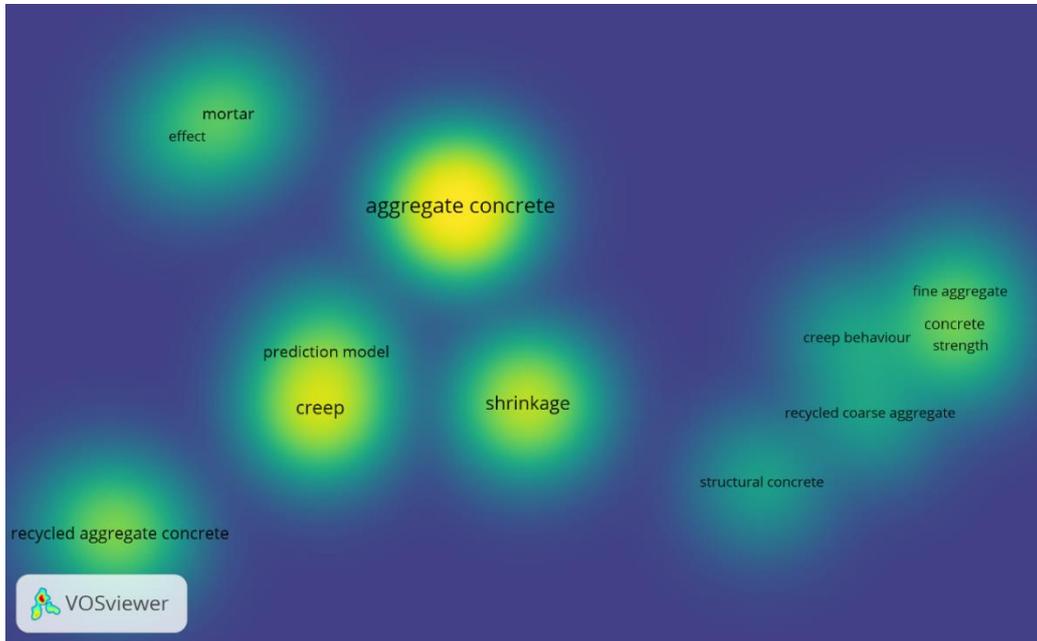
Na literatura tem sido demonstrado que o uso de ARC aumenta a fluência no concreto (LYE et al., 2016). A Figura 5 mostra os autores que mais publicaram sobre o assunto, sendo Jianzhuang Xiao (XIAO et al., 2012; XIAO et al., 2013; FAN et al., 2014; TAM et al., 2015; XIAO et al., 2015; ZHANG et al., 2021) o que mais se destaca, seguido por Vivian Tam (TAM et al., 2005; TAM e TAM, 2007; FAN et al., 2014; TAM et al., 2015; TAM et al., 2020) e Yuhui Fan (XIAO et al., 2012; XIAO et al., 2013; FAN et al., 2014; XIAO et al., 2015; FAN et al., 2020).

Figura 5 – Mapa de conexão dos autores que mais publicaram sobre o assunto.



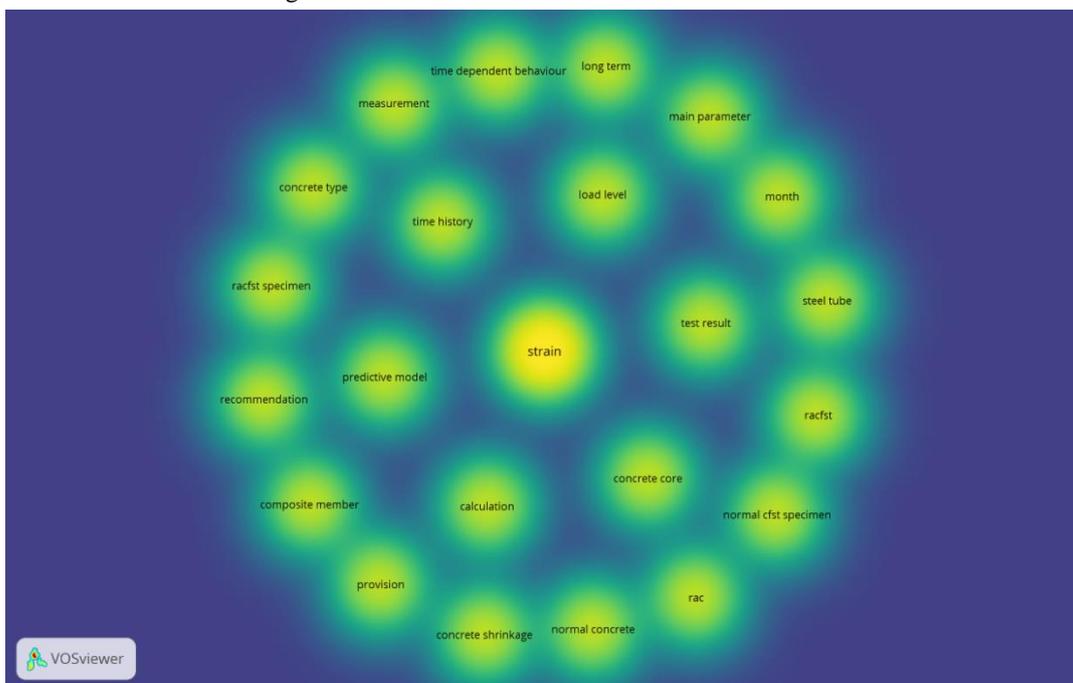
A Figura 6 mostra os termos mais utilizados nos títulos dos estudos selecionados, sendo os mais destacados: agregado de concreto, agregado de concreto reciclado, fluência e retração. Com relação aos dois últimos termos, mostra-se que são propriedades estudadas em simultâneo.

Figura 6 – Termos mais frequentes nos títulos.



Na Figura 7 são apresentadas as palavras-chave dos estudos analisados. Embora existam muitas palavras relacionadas, a palavra “deformação” é a mais relevante e com mais conexões.

Figura 7 – Palavras-chaves mais usadas nos estudos.



4.2 Procedimento de ensaio de fluência

Para realizar o ensaio de fluência, a maioria dos estudos utilizou a norma ASTM C512-02 (ASTM, 2002), seguido pela norma chinesa GB/T 50082 (CHINESE STANDARD, 2009), ensaiando em corpos de prova cilíndricos e prismáticos, respectivamente. A Tabela 1 apresenta um resumo do procedimento do ensaio de fluência, mas apenas dos artigos que relatam detalhes.

Tabela 1 – Resumo do procedimento do ensaio de fluência.

Autor(es)	Norma	Corpo de prova	Medidas (mm)	Carga (%)	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Amostra
Chinzorigt et al. (2020)	-	Cilíndrico	150x300	30	18,3-21.3	53 a 90	2
Fan et al. (2020)	GB/T 50082	Prisma	100x100x400	30	24±2	65±15	2
Geng et al. (2019)	GB/T 50082	Prisma	100x100x400	-	14,5±3	64±5	-
Lv et al. (2019)	GB/T 50082	Prisma	100x100x400	-	-	-	-
Bravo et al. (2017)	LNEC E399	-	-	-	-	-	-
Manzi et al. (2017)	ASTM C512/C512 M	-	-	30	-	-	-
Tam et al. (2015)	AS 1012.16	Cilíndrico	150x300	40	22±2	70±2	3
Ho et al. (2015)	ASTM C512-02	-	-	-	-	-	-
Cartuxo et al. (2015)	LNEC E399	Prisma	100x100x400	20-50	20±2	50±5	2
Fan et al. (2014)	GB/T 50082	Prisma	100x100x400	30	24±2	65±15	2
Manzi et al. (2013)	ASTM C512/C512 M	Cilíndrico	-	30	20±1	60	2
Ahmad e Roy (2012)	ASTM C512-02	Cilíndrico	150x300	35	28±4	-	-
Kou e Poon (2012)	ASTM C512-02	-	-	-	-	-	-
Fathifazl et al. (2011)	ASTM C512-02	Cilíndrico	150x300	-	23±1	50±4	-
Ghuraiz et al. (2011)	ASTM C512-02	Prisma	-	-	-	-	4
Domingo et al. (2010)	ASTM C512-02	Cilíndrico	150x300	35	23±1	65±10	-
Domingo-Cabo et al. (2009)	ASTM C512-02	Cilíndrico	150x300	35	23±1	65±10	-
Kou et al. (2007)	ASTM C512-02	Cilíndrico	150x300	35	23±2	-	4

A norma ASTM C512-02 (ASTM, 2002) estabelece que a temperatura do ensaio deve ser 23±1 °C; no entanto, os estudos de Kou et al. (2007) e Manzi et al. (2013) não atenderam esse requisito. Em relação à umidade relativa do ar, a norma ASTM C512-02 (ASTM, 2002) indica que esta deve ser 50±4 %, mas alguns autores não atenderam a essa especificação (DOMINGO-CABO et al., 2009; DOMINGO et al., 2010; MANZI et al., 2013).

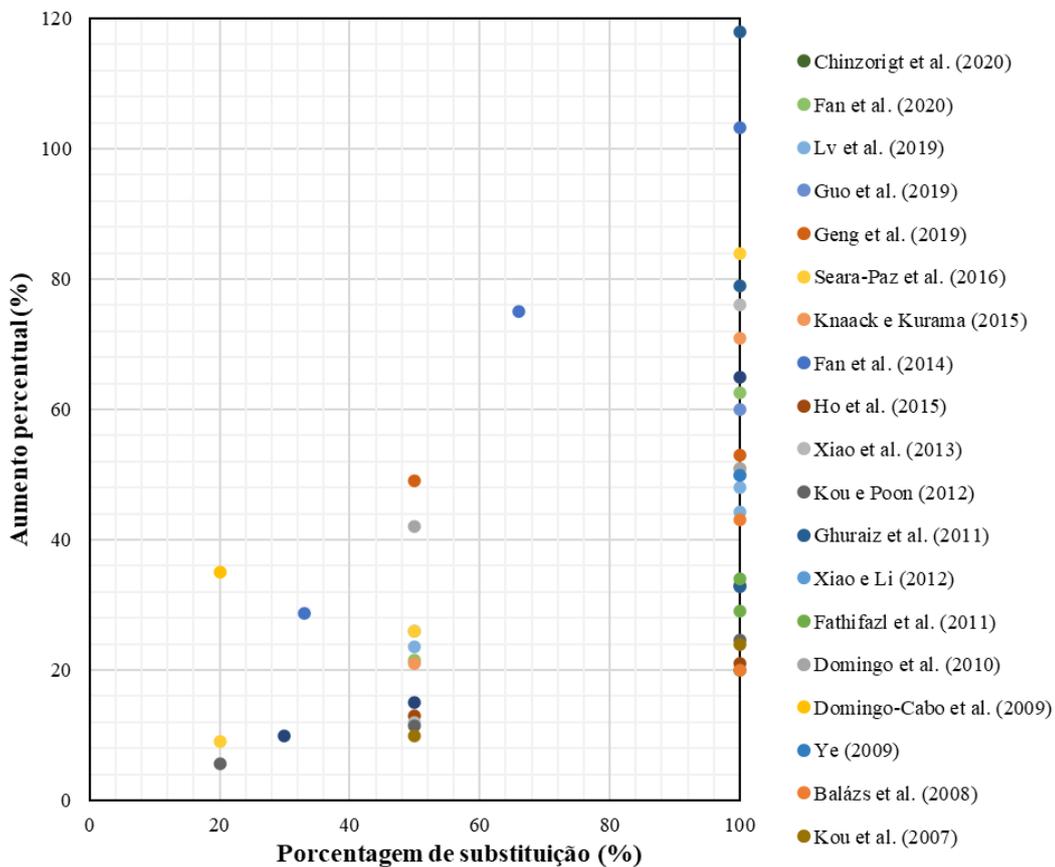
Observa-se que, no mínimo, dois corpos de prova foram utilizados por ensaio de fluência. Não foi possível apresentar todos os dados procedimentais do ensaio de fluência dos estudos, devido a que não indicam o método utilizado e/ou propõem outro (RAVINDRARAJAH e TAM, 1987; SATO et al., 2007; JANG e YUN, 2015; SEARA-PAZ et al., 2016; GUO et al., 2019; HE et al., 2020, CHINZORIGT et al., 2020).

4.3 Agregado Graúdo Reciclado de Concreto (AGRC)

São inúmeros os estudos que mostram a influência do AGRC na fluência do concreto. A deformação por fluência é mencionada em porcentagem em relação às amostras de controle, feitas com agregados naturais. É importante ressaltar que a deformação por fluência também é mencionada como fluência específica e coeficiente de fluência.

Em geral os estudos concordam que a fluência aumenta com a substituição dos agregados naturais por AGRC, entretanto, não há um valor exato deste acréscimo. Na Figura 8 são apresentados os dados sobre o aumento da fluência devido à substituição do AGRC (em porcentagem).

Figura 8 – Influência do AGRC na fluência do concreto.

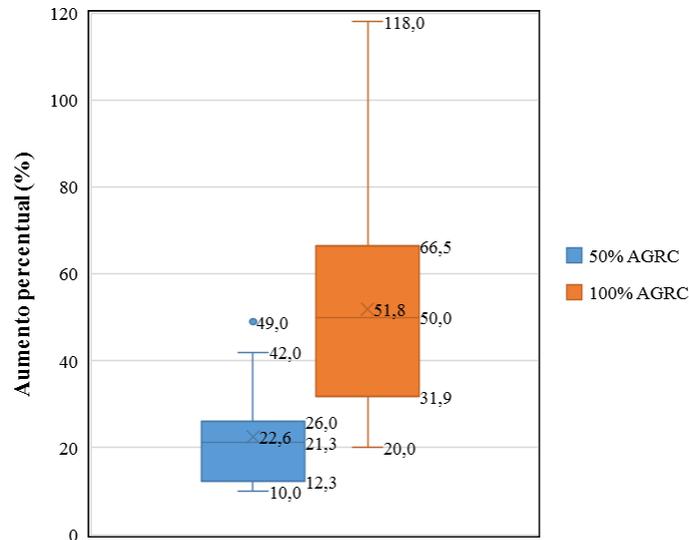


Ressalta-se que as substituições de 100% e 50% são as mais frequentes na literatura. Embora uma tendência possa ser observada nos dados, há uma grande variabilidade. A Figura 9 apresenta o *box-and-whisker plot* para as duas porcentagens de substituição mais comumente usadas (100% e 50%).

Com relação a 50% do AGRC, a média é de 22,6%, com 75% dos dados entre 10% e 26%. Existe apenas um valor discrepante de 49% no estudo de Geng et al. (2019). Para 100% AGRC a média é 51,8%; entretanto, uma maior variabilidade dos dados é observada com relação aos 50% do AGRC, o valor mínimo é 20% e o máximo é 118%. Neste sentido, Manzi

et al. (2017) e Manzi et al. (2013) indicam que o comportamento de fluência depende do conteúdo e da variedade de agregados reciclados.

Figura 9 – Aumento percentual na fluência pela substituição de AGRC.

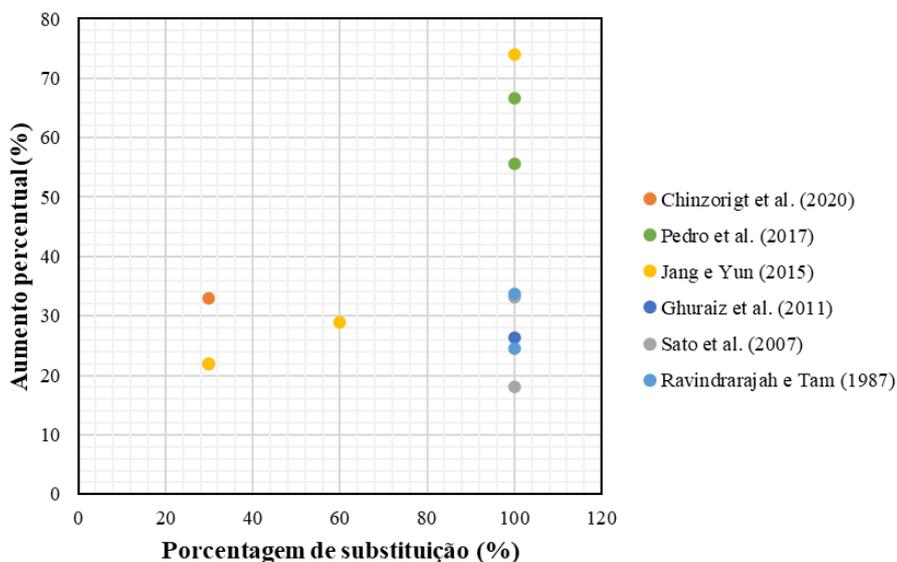


4.4 Agregado Fino Reciclado de Concreto (AFRC)

Em geral, a fluência aumenta com a substituição dos agregados finos pelo AFRC. No entanto, o aumento é menos pronunciado do que AGRC (GHURAIZ et al., 2011). Ravindrarajah e Tam (1987) mostram que o uso de AFRC aumenta ligeiramente a fluência e é reduzida quando se utiliza cinza de combustível pulverizado. Sato et al. (2007) constataram que o uso de AFRC aumenta a fluência entre 18,1% e 33,1%.

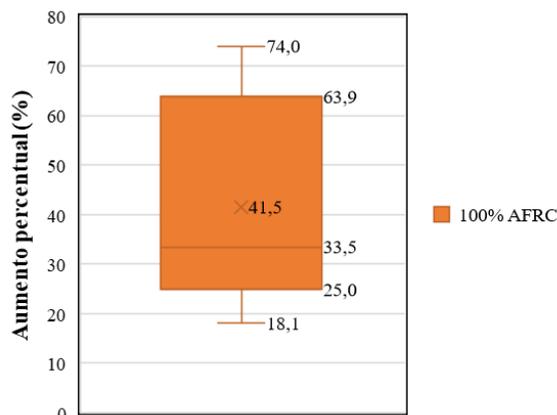
Em estudos recentes, Chinzorigt et al. (2020) descobriram a substituição de 30% do AFRC a fluência aumenta em 22% e, se for usada AFRC tratada com CO₂, a fluência aumenta até 33%. A Figura 10 resume os resultados do aumento de fluência usando AFRC.

Figura 10 – Influência do AFRC na fluência do concreto.



Como são poucos os resultados da influência do AFRC na fluência do concreto, percebe-se apenas que a substituição de 100% é a mais frequente nos artigos analisados. A Figura 11 apresenta o *box-and-whisker plot* apenas para a substituição 100% AFRC, destacando que a média é de 41,5% e uma alta dispersão de dados, de 18,1% até 74%.

Figura 11 – Aumento percentual na fluência pela substituição de AFRC.



Cartuxo et al. (2015) indicaram que ao usar 100% AFRC existem variações muito altas, superiores a 100%. Pedro et al. (2017) relataram que ao aumentar progressivamente tanto o AFRC quanto o AGRC, a fluência aumenta. No entanto, no estudo de Geng et al. (2019) é mostrado que a incorporação do AFRC poderia reduzir o efeito do AGRC na fluência de longo prazo. Os autores descobriram que, variando o AFRC de 50% a 100%, a fluência diminuiu.

Geng et al. (2019) indicam que à medida que o teor de AGRC no concreto aumenta, haverá um aumento na relação a/c ; portanto, maior deformação por fluência. Os autores explicam que o AGRC ocasiona exsudação de água pelos poros, sendo direcionado para a pasta de cimento, efeito este verificado por MEV (Figura 12). Observa-se que o concreto com apenas AGRC (Figura 12a) é mais poroso do que o concreto com agregado natural (Figura 12c).

Observa-se uma diminuição da fluência do concreto com AGRC com a incorporação do AFRC, o que é atribuída à capacidade de absorção de água do AFRC. Na mistura com AFRC foi considerado 70% de absorção de água, por meio do método de compensação de água. Nesse sentido, o AFRC pode absorver água livre tanto da nova pasta quanto do ZTI. Esse fenômeno reduz a relação a/c , diminuindo a fluência no concreto devido à restrição de deformação da pasta de cimento hidratado (maior rigidez no ZTI). Na Figura 12b observa-se que o ZTI do concreto com AGRC e AFRC é menos poroso do que o ZTI do concreto com apenas AGRC, uma maior densidade do ZTI indica maior rigidez (restrição à deformação por fluência).

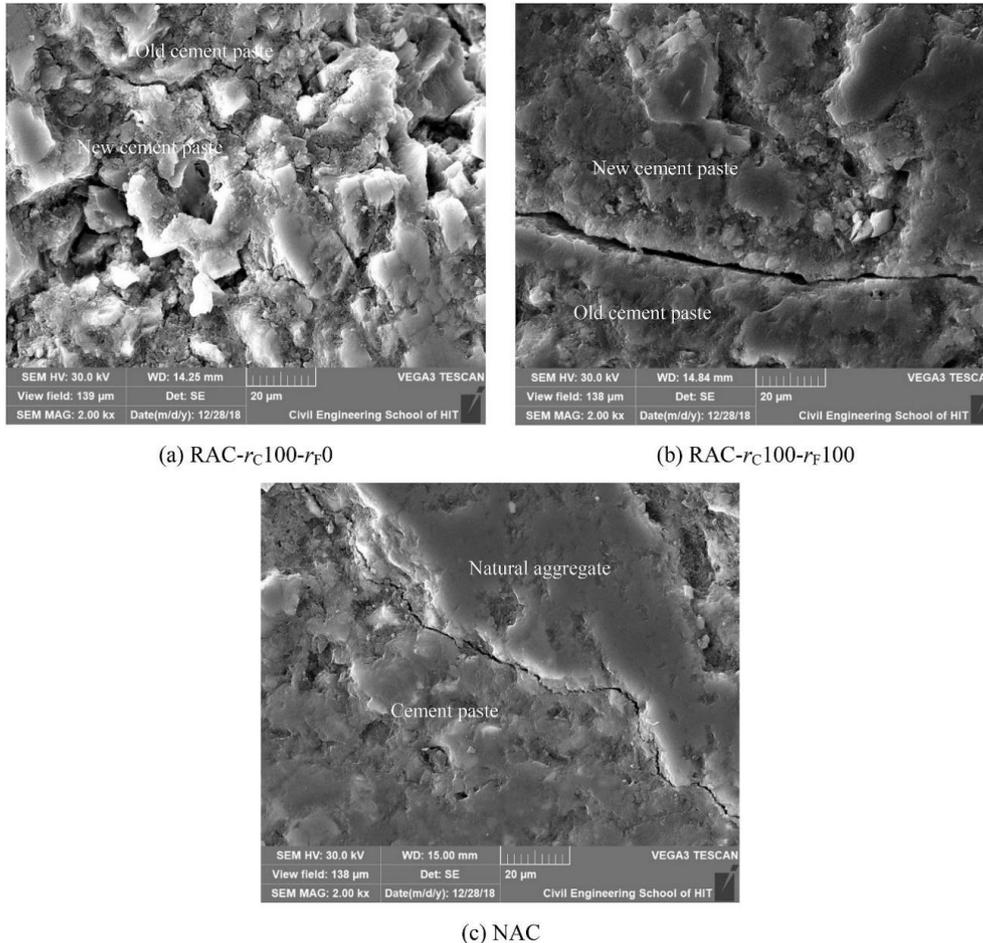
Apesar dos resultados apresentados, ainda não há um entendimento completo da influência do AFRC na fluência (AKONO et al., 2021), uma vez que existem poucos estudos de fluência com AFRC em comparação com a utilização do AGRC.

4.5 Relação Água/ cimento (a/c)

Não há muitos dados sobre o efeito da relação a/c na fluência do concreto. Os resultados apresentados mostram que não há influência direta na mudança da relação a/c (RAVINDRARAJAH e TAM, 1987). No entanto, no estudo de Xiao et al. (2015) foi mostrado que tanto a fluência quanto a retração aumentam com o aumento da relação a/c . Nesse mesmo sentido, Seara-Paz et al. (2016) usaram duas relações a/c , 0,5 e 0,65, com

substituição de 100% do AGRC. Os autores descobriram que os coeficientes de fluência foram maiores do que o concreto convencional em 11% e 45%. Embora não seja possível concluir sobre o impacto da relação a/c na fluência, estudos recentes marcam uma tendência, quanto maior a relação a/c , maior a fluência.

Figura 12 – Imagens de MEV para concreto com: a) 100% AGRC, b) 100% AGRC e 100% AFRC, e c) agregados naturais.



Fonte: Geng et al. (2019).

4.6 Outras considerações nas propriedades do CAR

Espera-se que as cinzas volantes e a sílica ativa, devido às suas partículas esféricas, distribuição de tamanho e ultrafinura, melhorem o empacotamento de partículas no concreto e, portanto, suas propriedades de longo prazo, o que beneficiaria o CAR (LYE et al., 2016; RAVINDRARAJAH e TAM, 1987). Kou e Poon (2012) indicam que as cinzas volantes no concreto AGRC podem contribuir para uma menor fluência.

Sato et al. (2007) relataram o efeito da cura na fluência do concreto com agregados reciclados, mostrando que o tipo de cura tem um efeito negativo na fluência. Os autores utilizaram dois tipos de cura: com ar e selada com papel saturado, mas no primeiro o CAR apresenta maior fluência do que o concreto convencional. Também foi mostrado que quanto maior o tempo de cura, menor é a fluência.

Em relação à influência da idade de carregamento na fluência, a partir dos estudos encontrados, pode-se afirmar que quanto maior a idade de carregamento for, a fluência diminui (SATO et al., 2007; AHMAD e ROY, 2012).

4.7 Causas de fluência no CAR

Várias causas de fluência no CAR são relatadas na literatura. A Tabela 2 mostra as causas mais indicadas pelos estudos. É necessário mencionar que muitos estudos são descritivos e não atribuíram causas aos resultados apresentados.

Tabela 2 – Causas relatadas da fluência no CAR.

Causa	Número de vezes mencionado	Autores
Argamassa aderida ao agregado reciclado	18	Akono et al. (2021); Zhang et al. (2021); Fan et al. (2020); Chinzorigt et al. (2020); Lv et al. (2019); Guo et al. (2019); Seara-Paz et al. (2016); Ho et al. (2015); Xiao et al. (2015); Fan et al. (2014); Manzi et al. (2013); Xiao et al. (2012); Fathifazl et al. (2011); Domingo et al. (2010); Domingo-Cabo et al. (2009); Balázs et al. (2008); Hansen (1986)
O agregado reciclado é mais poroso/alta absorção de água	5	Chinzorigt et al. (2020); Geng et al. (2019); Seara-Paz et al. (2016); Ho et al. (2015); Xiao et al. (2012)
Baixo módulo de elasticidade do agregado reciclado	5	Lv et al. (2019); Bravo et al. (2017); Cartuxo et al. (2015); Fan et al. (2014); Balázs et al. (2008)
Maior volume total de argamassa	5	Lv et al. (2019); Fan et al. (2014); Domingo et al. (2010); Anderson et al. (2009); Domingo-Cabo et al. (2009)
Variação relação água/cimento	5	Bravo et al. (2017); Xiao et al. (2015); Domingo et al. (2010); Manzi et al. (2013); Balázs et al. (2008)
Menor resistência à compressão	1	Ghuraiz et al. (2011)

Embora o fenômeno de fluência dependa de vários fatores (NEVILLE, 1995), existe uma conexão entre eles. Em geral, há um consenso sobre o aumento da fluência no CAR, a maioria dos estudos atribui à argamassa antiga aderida ao agregado reciclado, o que aumenta o volume de argamassa total (antiga e nova), varia a relação a/c e baixa a resistência à compressão do concreto.

4.8 Modelos propostos para estimar a fluência do concreto

Vários modelos são propostos na literatura; no entanto, os mais utilizados são aqueles recomendados pelas normativas internacionais, tais como ACI (ACI COMMITTEE 209, 2008), *Eurocode 2* (CEN, 2004), *fib Model Code 2010* (FIB, 2013), o modelo Bazant e Baweja (1995), entre outros.

Em pesquisas recentes, Guo et al. (2019) propõem um método numérico para modelar a fluência do CAR, considerando a argamassa antiga. Os autores modelaram as propriedades viscoelásticas, onde observaram que não são depreciáveis em agregados reciclados e que levam a maiores níveis de deslocamento de fluência e danos. Os autores verificaram que a cinética de fluência do concreto com 30% de ARC é comparável à do concreto com agregados naturais, mas após 3 meses de carregamento há uma amplitude de 1,2 vezes. Para um concreto com 100% de ARC, o desenvolvimento da fluência é mais rápido e a amplitude foi 1,6 vezes maior quando comparada ao concreto com agregados naturais.

Embora tenha sido encontrada uma alta variabilidade no banco de dados utilizado por Tošić et al. (2019), foi demonstrado que o ARC aumenta a fluência no concreto e diminui a resistência à compressão. Um concreto com 100% de ARC tem um aumento no coeficiente de fluência de 39% em relação ao concreto com agregados naturais. Os autores descobriram que o modelo de previsão de fluência do *fib Model Code 2010* subestima o coeficiente de fluência do CAR. Os autores propõem um coeficiente de correção para o coeficiente de fluência do *fib*

Model Code 2010, este coeficiente de correção depende da resistência à compressão do CAR e da substituição do ARC.

Seara-Paz et al. (2016) compararam os coeficientes teóricos e experimentais de fluência do CAR, onde observaram que os valores são semelhantes aos do concreto convencional, indicando que o ARC tem pouca influência na predição da fluência. Nesse sentido, os autores propuseram funções de correção para prever os coeficientes de fluência e retração do CAR, considerando a idade de carregamento. Foi utilizada regressão multivariada dos resultados experimentais, a qual que apresentou um bom ajuste: erro quadrático médio de 0,99 e coeficiente de variação de 3%.

Lye et al. (2016) propõem um método empírico, baseado em dados da literatura, para estimar a fluência do concreto com ARC, este método considera a resistência do concreto e o uso do *Eurocode 2*. Os autores estabeleceram uma família de relações empíricas do CAR e o concreto com agregados naturais, considerando uma resistência à compressão desde 30 MPa até 100 MPa. Com o uso desta família de curvas é possível obter os fatores de correção para CAR.

4.9 Medidas para reduzir a fluência

A Tabela 3 apresenta algumas medidas para diminuir a fluência do CAR.

Tabela 3 – Medidas propostas na literatura para reduzir a fluência.

Autor	Medida	Resultados/comentários
He et al. (2020)	Usar mistura redutora de retração (<i>Shrinkage Reducing Admixture - SRA</i>)	A adição de SRA reduz significativamente a fluência do CAR e melhora sua microestrutura interna. A adição de SRA e agregados reciclados de alta qualidade pode gerar menor fluência do que o concreto convencional.
Lye et al. (2016)	Reduzir a pasta de cimento	Reduzir a quantidade de pasta de cimento com aditivos redutores de água, o que favorece a diminuição da fluência. É necessário verificar as proporções da mistura, mantendo o teor de finos. A adição de cinza volante seria favorável.
Lye et al. (2016)	Aumentar a resistência de projeto do concreto	Aumentar a resistência do CAR para que tenha um coeficiente de fluência semelhante ao concreto com agregados naturais. Reduzir o teor de água ou usar aditivos redutores de água.
Kou e Poon (2012)	Usar cinza volante	Baixa a fluência do CAR e o concreto convencional. A cinza volante reduz a relação a/c e melhora a resistência à compressão. Menor relação tensão/deformação.
Fathifazl et al. (2011)	Usar o método EMV (<i>Equivalent Mortar Volume</i>)	O método consiste em manter o volume total da argamassa (nova mais antiga) do CAR igual ao da argamassa de um concreto convencional. Este método reduz a fluência do CAR do que um tradicionalmente projetado.
Kou et al. (2007)	Usar cinza volante	O uso de cinza volante como substituto do cimento foi capaz de reduzir a retração e a fluência do CAR.
Tam et al. (2005); Tam e Tam (2007)	Usar o método de mistura de dois estágios TSMA (<i>Two-Stage Mixing Approach</i>)	Primeiro, o agregado graúdo é misturado à areia com metade da água, depois o restante (cimento e água) é adicionado. A fluência diminui até 22% do CAR tradicionalmente misturado.

Embora várias propostas tenham sido sugeridas para reduzir a fluência no CAR, ainda representa uma linha de pesquisa emergente, uma vez que todos os resultados relatados se limitaram apenas às condições laboratoriais.

5. CONCLUSÕES

O uso do ARC aumenta a fluência do concreto. A influência do AGRC na fluência é mais clara, mas não do FRCA, uma vez que os estudos são poucos e não refletem uma tendência. Atribui-se que o aumento da fluência de um concreto com ARC seja devido à argamassa antiga, que aumenta a quantidade de argamassa e varia a relação a/c. Mas também outras causas são relatadas, como a alta absorção de água e baixo módulo de elasticidade do ARC.

Observou-se que outros fatores têm um efeito significativo na fluência do concreto com ARC (relação a/c, tipo de cura, entre outros). No entanto, os dados são limitados e maior pesquisa é necessária para conhecer o alcance desses fatores.

Para a modelagem da fluência, na literatura são propostos novos métodos e correções são recomendadas. Isso porque as normativas subestimam o coeficiente de fluência para CAR, mas os modelos propostos consideram a argamassa antiga do ARC, a resistência à compressão, a idade de carregamento, entre outros fatores, demonstrando um bom ajuste com os dados experimentais.

Com relação à diminuição da fluência no CAR, várias medidas têm sido relatadas, como o uso de aditivos redutores de retração, limitar a pasta de cimento e aumentar a resistência de projeto do concreto. Neste sentido, o uso de cinza volante é apresentado como alternativa, pois aumenta a resistência à compressão e reduz a quantidade de pasta de cimento. Finalmente, modificar o método de mistura e ajustar a dosagem também são alternativas de redução de fluência.

Não havendo um entendimento completo sobre o impacto dos ARC na fluência do concreto, novos estudos são necessários para consolidar as tendências apresentadas e dar maior clareza sobre o assunto, apresentando o uso dos ARC como uma alternativa sustentável e segura.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15116**: agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural: requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021. ABELPRE, São Paulo, Brasil, 2021.

ACI COMMITTEE 209. **ACI PRC-209.2-08**. Guide for Modelling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 2008.

AHMAD, S.; ROY, S. Creep behavior and its prediction for normal strength concrete made from crushed clay bricks as coarse aggregate. **Journal of materials in civil engineering**, v. 24, n. 3, p. 308-314. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000391](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000391)

AKONO, A. T.; CHEN, J.; ZHAN, M.; SHAH, S. P. Basic creep and fracture response of fine recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 266, 121107, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121107>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM C512**. Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression. ASTM International, West Conshohocken, 2002. <https://doi.org/10.1520/C0512-02>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D8038-16**. Standard Practice for Reclamation of Recycled Aggregate Base (RAB) Material. ASTM International, West Conshohocken, 2016. <https://doi.org/10.1520/D8038-16>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM C1798/C1798M-19**. Standard Specification for Returned Fresh Concrete for Use in a New Batch of Ready-Mixed Concrete. ASTM International, West Conshohocken, 2019. https://doi.org/10.1520/C1798_C1798M-19

ANEPAC. **Indústria Brasileira de Agregados**, 2021. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/grupos-de-trabalho/56a-legislatura/gt-codigo-de-mineracao-decreto-lei-227-67/apresentacoes-em-eventos/ANEPAC.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2022

ANDERSON, K. W.; UHLMAYER, J. S.; RUSSELL, M. A. **Use of recycled concrete aggregate in PCCP: literature search** (No. WA-RD 726.1), 2019. Disponível em: <<http://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/726.1.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2022.

BALÁZS, G. L.; KAUSAY, T.; SIMON, T. K. Technical guideline for recycled aggregate concrete in Hungary. **Concrete Structures, Annual Technical Journal**, v. 9, p. 45-55, 2008.

BAŽANT, Z. P.; HUBLER, M. H.; YU, Q. Pervasiveness of excessive segmental bridge deflections: Wake-up call for creep. **ACI Structural Journal**, v. 108, n. 6, p. 766-774, 2011.

BAŽANT., Z. P.; BAWEJA, S. Creep and shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structures— model B3. **Materials and Structures**, v. 28, p. 357-365, 1995. <https://doi.org/10.1007/BF02473152>

BEHERA, M.; BHATTACHARYYA, S. K.; MINOCHA, A. K.; DEOLIYA, R.; MAITI, S. Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete—A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. **Construction and building materials**, v. 68, p. 501-516, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.003>

BRAVO, M.; de BRITO, J.; PONTES, J.; EVANGELISTA, L. Shrinkage and creep performance of concrete with recycled aggregates from CDW plants. **Magazine of Concrete Research**, v. 69, n. 19, p. 974-995, 2017. <https://doi.org/10.1680/jmacr.17.00031>

BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. **BS 8500-2**. Concrete—Complementary British Standard to BS EN 206-1—Part 2: Specification for constituent materials and concrete. BSI, London, UK, 2202.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D. Mechanical properties modeling of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 4, p. 421-430, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.011>

CARNEIRO, J. A.; LIMA, P. R. L.; LEITE, M. B.; TOLEDO FILHO, R. D. Compressive stress–strain behavior of steel fiber reinforced-recycled aggregate concrete. **Cement and concrete composites**, v. 46, p. 65-72, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.11.006>

CARTUXO, F.; de BRITO, J.; EVANGELISTA, L.; JIMENEZ, J. R.; LEDESMA, E. F. Rheological behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates—Influence of

the superplasticizer. **Construction and Building Materials**, v. 89, p. 36-47, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.119>

CHINESE STANDARD. **GB/T50082–2009**. Test Method Standard for Long-Term Performance and Durability of Ordinary Concrete. China Building Industry Press, Beijing, China, 2009.

CHINESE STANDARD. **GB/T 25176–2010**. Recycled fine aggregate for concrete and mortar. China Building Industry Press, Beijing, China, 2010a.

CHINESE STANDARD. **GB/T 25177–2010**. Recycled coarse aggregate for concrete. China Building Industry Press, Beijing, China, 2010b.

CHINZORIGT, G.; LIM, M. K.; YU, M.; LEE, H.; ENKBOLD, O.; CHOI, D. Strength, shrinkage and creep and durability aspects of concrete including CO₂ treated recycled fine aggregate. **Cement and Concrete Research**, v. 136, 106062, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106062>

DOMINGO, A.; LÁZARO, C.; GAYARRE, F. L.; SERRANO, M. A.; LÓPEZ-COLINA, C. Long term deformations by creep and shrinkage in recycled aggregate concrete. **Materials and Structures**, v. 43, n. 8, 1147-1160, 2010. <https://doi.org/10.1617/s11527-009-9573-0>

DOMINGO-CABO, A.; LÁZARO, C.; LÓPEZ-GAYARRE, F.; SERRANO-LÓPEZ, M. A.; SERNA, P.; CASTAÑO-TABARES, J. O. Creep and shrinkage of recycled aggregate concrete. **Construction and building materials**, v. 23, n. 7, p. 2545-2553, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.02.018>

ETXEBERRIA, M.; VÁZQUEZ, E.; MARI, A. Microstructure analysis of hardened recycled aggregate concrete. **Magazine of Concrete Research**, v. 58, n. 10, p. 683-690, 2006. <https://doi.org/10.1680/mac.2006.58.10.683>

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION – CEN. **BS EN 1992-1-1:2004**. Eurocode 2: Design of concrete structures. General rules and rules for buildings. CEN, Brussels, 2004.

FAN, Y.; NIU, H.; ZHANG, X. Impact of the properties of old mortar on creep prediction model of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 239, 117772, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117772>

FAN, Y.; XIAO, J.; TAM, V. W. Effect of old attached mortar on the creep of recycled aggregate concrete. **Structural Concrete**, v. 15, n. 2, p. 169-178, 2014. <https://doi.org/10.1002/suco.201300055>

FATHIFAZL, G.; RAZAQPUR, A. G.; ISGOR, O. B.; ABBAS, A.; FOURNIER, B.; FOO, S. Creep and drying shrinkage characteristics of concrete produced with coarse recycled concrete aggregate. **Cement and Concrete Composites**, v. 33, n. 10, p. 1026-1037, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.08.004>

INTERNATIONAL FEDERATION FOR STRUCTURAL CONCRETE - FIB (2013). **fib Model Code for Concrete Structures 2010**. International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, 2013. <https://doi.org/10.1002/9783433604090>

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73. <https://doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73>

GENG, Y.; ZHAO, M.; YANG, H.; WANG, Y. Creep model of concrete with recycled coarse and fine aggregates that accounts for creep development trend difference between recycled and natural aggregate concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 103, p. 303-317, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.05.013>

GERMAN INSTITUTE FOR STANDARDIZATION. **DIN 4226–100**: Aggregates for mortar and concrete; Part 100: Recycled aggregates: DIN Berlin, Germany, 2002.

GHURAIZ, Y. S.; SWELLAM, M. H.; RAGAB, A. M.; GARAS, G. L. K. The effect of recycled aggregates on creep behavior of structural concrete: Gaza Strip-a case study. **Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences**, v. 2, n. 2, p. 308-313, 2011. <https://hdl.handle.net/10520/EJC138536>

GÓMEZ-SOBERÓN, J. M. Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: An experimental study. **Cement and concrete research**, v. 32, n. 8, p. 1301-1311, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00795-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00795-0)

GUO, M.; GRONDIN, F.; LOUKILI, A. Numerical method to model the creep of recycled aggregate concrete by considering the old attached mortar. **Cement and Concrete Research**, v. 118, p. 14-24, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.01.008>

HANSEN, T. C. Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second state-of-the-art report developments 1945–1985. **Materials and structures**, v. 19, n. 3, p. 201-246, 1986. <https://doi.org/10.1007/BF02472036>

HE, Y. E. Experimental study on mechanical properties of concrete made with high quality recycled aggregates. **Sichuan Building Science**, v. 35, n. 5, p.195-199, 2009.

HE, Z. H.; HU, H. B.; CASANOVA, I.; LIANG, C. F.; DU, S. G. Effect of shrinkage reducing admixture on creep of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 254, 119312, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119312>

HO, N. Y.; LEE, Y. P. K.; LIM, W. F.; CHEW, K. C.; LOW, G. L.; TING, S. K. Evaluation of RCA concrete for the construction of Samwoh Eco-Green Building. **Magazine of Concrete Research**, v. 67, n. 12, p. 633-644, 2015. <https://doi.org/10.1680/macr.14.00212>

HOSSAIN, M. U.; POON, C. S.; LO, I. M. C.; CHENG, J. C. P. Comparative environmental evaluation of aggregate production from recycled waste materials and virgin sources by LCA. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 109, p. 67-77, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.02.009>

HUANG, B.; WANG, X.; KUA, H.; GENG, Y.; BLEISCHWITZ, R.; REN, J. Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, p. 36-44, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029>

JANG, S. J.; YUN, H. D. Mechanical properties of ready-mixed concrete incorporating fine recycled aggregate. **Magazine of Concrete Research**, v. 67, n. 12, p. 621-632, 2015. <https://doi.org/10.1680/mac.14.00258>

JAPAN STANDARDS ASSOCIATION – JSA. **Japanese Industrial Standards Committee 5021**: Recycled aggregate for concrete-class H. Japanese Industrial Standards, Tokyo, Japan, 2018a.

JAPAN STANDARDS ASSOCIATION – JSA. **Japanese Industrial Standards Committee 5022**: Recycled aggregate for concrete-class M. Japanese Industrial Standards, Tokyo, Japan, 2018b.

JAPAN STANDARDS ASSOCIATION – JSA. **Japanese Industrial Standards Committee 5023**: Recycled aggregate for concrete-Class L. Japanese Industrial Standards, Tokyo, Japan, 2018c.

KABIRIFAR, K.; MOJTAHEDI, M.; WANG, C.; TAM, V. W. Y. Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 263, 121265, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121265>

KNAACK, A. M.; KURAMA, Y. C. Creep and shrinkage of normal-strength concrete with recycled concrete aggregates. **ACI Materials Journal**, v. 112, n. 3, p. 451-462, 2015.

KOU, S. C.; POON, C. S. Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregate. **Construction and building materials**, v. 35, p. 69-76, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.032>

KOU, S. C.; POON, C. S.; CHAN, D. Influence of fly ash as cement replacement on the properties of recycled aggregate concrete. **Journal of materials in civil engineering**, v. 19, n. 9, p. 709-717, 2007. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:9\(709\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:9(709))

LV, Z.; LIU, C.; ZHU, C.; BAI, G.; QI, H. Experimental Study on a Prediction Model of the Shrinkage and Creep of Recycled Aggregate Concrete. **Applied Sciences**, v. 9, n. 20, 4322, 2019. <https://doi.org/10.3390/app9204322>

LYE, C. Q.; DHIR, R. K.; GHATAORA, G. S.; LI, H. Creep strain of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 102, p. 244-259, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.181>

MANZI, S.; MAZZOTTI, C.; BIGNOZZI, M. C. Short and long-term behavior of structural concrete with recycled concrete aggregate. **Cement and Concrete Composites**, v. 37, p. 312-318, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.01.003>

MANZI, S.; MAZZOTTI, C.; BIGNOZZI, M. C. Self-compacting concrete with recycled concrete aggregate: Study of the long-term properties. **Construction and Building Materials**, v. 157, p. 582-590, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.129>

NEVILLE, A. M. **Properties of concrete**, v. 4. London: Longman, 1995.

PEDRO, D. D.; de BRITO, J.; EVANGELISTA, L. Structural concrete with simultaneous incorporation of fine and coarse recycled concrete aggregates: Mechanical, durability and

long-term properties. **Construction and Building Materials**, v. 154, p. 294-309, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.215>

PEPE, M.; TOLEDO FILHO, R. D.; KOENDERS, E. A.; MARTINELLI, E. Alternative processing procedures for recycled aggregates in structural concrete. **Construction and Building Materials**, v. 69, p. 124-132. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.084>

RAVINDRARAJAH, R. S.; TAM, C. T. Recycling concrete as fine aggregate in concrete. **International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, v. 9, n. 4, p. 235-241, 1987. [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(87\)90007-8](https://doi.org/10.1016/0262-5075(87)90007-8)

SATO, R.; MARUYAMA, I.; SOGABE, T.; SOGO, M. Flexural behavior of reinforced recycled concrete beams. **Journal of Advanced Concrete Technology**, v. 5, n. 1, p. 43-61, 2007. <https://doi.org/10.3151/JACT.5.43>

SCRIVENER, K. L.; CRUMBIE, A. K.; LAUGESSEN, P. The interfacial transition zone (ITZ) between cement paste and aggregate in concrete. **Interface science**, v. 12, n. 4, p. 411-421, 2004. <https://doi.org/10.1023/B:INTS.0000042339.92990.4c>

SEARA-PAZ, S.; GONZÁLEZ-FONTEBOA, B.; MARTÍNEZ-ABELLA, F.; GONZÁLEZ-TABOADA, I. Time-dependent behaviour of structural concrete made with recycled coarse aggregates. Creep and shrinkage. **Construction and Building Materials**, v. 122, p. 95-109, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.050>

SHEN, P. S.; FANG, H.; XIA, X. H. Influence of Creep and Shrinkage on Tall Hybrid Structures and Its Countermeasures. **Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China**, v. 3, n. 2, p. 234-239, 2008. <https://doi.org/10.1007/s11709-009-0020-7>

SILVA, F. A.; DELGADO, J. M.; AZEVEDO, A. C.; LIMA, A. G.; VIEIRA, C. S. Preliminary analysis of the use of construction waste to replace conventional aggregates in concrete. **Buildings**, v. 11, n. 3, 81, 2021. <https://doi.org/10.3390/buildings11030081>

STATISTA RESEARCH DEPARTMENT. **Global cement production from 1990 to 2030** (in million metric tons), 2013. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/373845/global-cement-production-forecast/>>. Acesso em: 07 jan. 2022

TAM, V. W.; TAM, C. M. Assessment of durability of recycled aggregate concrete produced by two-stage mixing approach. **Journal of Materials Science**, v. 42, n. 10, p. 3592-3602, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10853-006-0379-y>

TAM, V. W.; GAO, X. F.; TAM, C. M. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. **Cement and concrete research**, v. 35, n. 6, p. 1195-1203, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.025>

TAM, V. W.; KOTRAYOTHAR, D.; XIAO, J. Long-term deformation behaviour of recycled aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, v. 100, p. 262-272, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.013>

THE FREEDONIA GROUP. **Global Demand for Construction Aggregates to Exceed 48 Billion Metric Tons in 2015**, 2012. Disponível em:

<https://www.concreteconstruction.net/business/global-demand-for-construction-aggregates-to-exceed-48-billion-metric-tons-in-2015_o>. Acesso em: 07 jan. 2022

THE MINISTRY OF ENVIRONMENT, FOREST AND CLIMATE CHANGE - MoEF. **Construction and Demolition Waste Management Rules 2016**, 2018. Disponível em: <<https://vikaspedia.in/energy/environment/waste-management/environment-ministry-notifies-construction-and-demolition-waste-management-rules-for-the-first-time>>. Acesso em: 07 jan. 2022

TOŠIĆ, N.; de la FUENTE, A.; MARINKOVIĆ, S. Creep of recycled aggregate concrete: Experimental database and creep prediction model according to the fib Model Code 2010. **Construction and Building Materials**, v. 195, p. 590-599, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.048>

TSUJINO, M.; NOGUCHI, T.; TAMURA, M.; KANEMATS, M.; MARUYAMA, I.; NAGAI, H. Study on the application of low-quality recycled coarse aggregate to concrete structure by surface modification treatment. In Proceedings of the 2nd Asian Concrete Federation Conference, 2006, p. 36-45.

UNITED NATIONS. **United Nations Framework Convention on Climate Change**, Paris Agreement, 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2022

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – US EPA. **Advancing Sustainable Materials Management 2018 Fact Sheet**, 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-11/documents/2018_ff_fact_sheet.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2022

VIEIRA, L. D. B. P.; de FIGUEIREDO, A. D.; JOHN, V. M. Evaluation of the use of crushed returned concrete as recycled aggregate in ready-mix concrete plant. **Journal of Building Engineering**, v. 31, 101408, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101408>

WALBERG, D. Solid and timber construction in residential buildings/Massiv-und Holzbau bei Wohngebäuden. **Mauerwerk**, v. 20, n. 1, p. 16-31, 2016. <https://doi.org/10.1002/dama.201600685>

WANG, B.; YAN, L.; FU, Q.; KASAL, B. A Comprehensive Review on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, v, 171, 105565, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105565>

WARBURTON, R. **Global Warming Has Concrete Problem When It Comes to CO2**, 2020. Disponível em: <<https://www.ecori.org/climate-change/2019/10/4/global-warming-has-a-co2concrete-problem>>. Acesso em: 07 jan. 2022

XIAO, J. Z.; XU, X. D.; FAN, Y. H. Shrinkage and creep of recycled aggregate concrete and their prediction by ANN method. **Journal of Building Materials**, v. 16, n. 5, p. 752-757, 2013. <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1007-9629.2013.05.003>

XIAO, J.; FAN, Y.; VIVIAN, W. Y. On creep characteristics of cement paste, mortar and recycled aggregate concrete. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 19, n. 10, p. 1234–1252, 2015. <https://doi.org/10.1080/19648189.2015.1008652>

XIAO, J.; LI, W.; FAN, Y.; HUANG, X. An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996–2011). **Construction and building materials**, v. 31, p. 364-383, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.074>

ZHANG, P.; WANG, Y.; LIU, B.; GUO, K.; XIAO, J. Rate-dependent damping properties of recycled aggregate concrete from creep perspective. **Construction and Building Materials**, v. 273, 121691, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121691>

ZHENG, L.; WU, H.; ZHANG, H.; DUAN, H.; WANG, J.; JIANG, W.; DONG, B.; LIU, G.; ZUO, J.; SONG, Q. Characterizing the generation and flows of construction and demolition waste in China. **Construction and Building Materials**, v. 136, p. 405-413, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.055>



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.